

# 必英沟陡长排水隧洞施工措施研究与应用

王国阳, 钱凯旋, 龚泽鹏

(华电金沙江上游水电开发有限公司拉哇分公司, 四川 成都 610041)

**摘要:** 地下洞室开挖支护施工难度及工效会因围岩类别、断面尺寸、纵向坡度、支洞数量等不同而各异, 因此, 采取开挖支护施工措施也会有所差别。根据拉哇水电站必英沟排水隧洞工程的特点, 对开挖支护施工重难点进行全面分析, 采取适用于陡长水工隧洞单作业面开挖支护的施工措施, 减少了施工工序的干扰, 提高了施工工效的保证率, 可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 陡长水工隧洞; 开挖支护; 施工措施; 单作业面

**中图分类号:** [TM622]; TV672+.1; TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2022)03-0018-03

## Research and Application of Construction Measures for

### Biyinggou Steep and Long Discharge Tunnel

WANG Guoyang, QIAN Kaixuan, GONG Zepeng

(Lawa Branch of Huadian Jinsha River Upstream Hydropower

Development Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610041)

**Abstract:** The construction difficulty and work efficiency of underground cavern excavation and support varies due to different types of surrounding rock, section size, longitudinal slope, number of adits, etc., and the excavation and support measures taken are also different. Based on the characteristics of the Biyinggou discharge tunnel of Lawa Hydropower Station, this paper comprehensively analyzes the difficulties in excavation and support, and puts forward the construction measures suitable for excavation and support of steep and long hydraulic tunnel with single excavation face, which reduces interferences between construction procedures, improves the guarantee rate of construction efficiency, and provides reference for similar projects.

**Key words:** steep and long hydraulic tunnel; excavation support; construction measures; single excavation face

## 0 引言

水力发电作为一种传统清洁能源, 具有电能获取无碳化的优势, 将会在实现“碳达峰、碳中和”目标中发挥重要作用, 而水工隧洞作为水力发电工程的主要施工项目, 对施工技术、施工质量和施工措施等方面的要求极高<sup>[1]</sup>。在隧洞开挖支护施工过程中, 受复杂多变且可预见性较差的水文及地质等外界因素的影响, 加之自身结构设计参数的不同, 因此, 结合具体工程项目特点, 选择合适的施工技术和合理的施工措施, 有效解决施工过程中的地下渗水及施工用水抽排、通风散烟、资源输送通道等问题, 对于减少施工工序干扰、提高施工功效保证率、保证施工安全可靠等具有十分重要的意义<sup>[2-3]</sup>。

收稿日期: 2022-04-29

## 1 必英沟工程布置

必英沟位于拉哇水电站大坝轴线上游约 2.8 km 的左岸, 为常年流水沟, 主沟长度 13.93 km, 沟道平均纵比降 17.7%。必英沟右侧沟底高程 2 790~2 620 m 范围为电站料场开采区, 开采区上游为砂石加工系统布置区域。料场开采区下方沟道内为弃渣场, 弃渣来源主要包括料场开采剥离料和加工弃料等。必英沟渣场堆渣顶高程 2 730 m, 设计弃渣量 633.32 万 m<sup>3</sup>, 堆渣体最大高度 180 m, 渣场级别为 I 级, 防洪建筑物等级为 I 级, 必英沟排水设计标准为 100 a 一遇, 相应洪峰流量为 84.7 m<sup>3</sup>/s, 排水工程为永久建筑物。

必英沟排水隧洞布置于必英沟右岸, 由进口明渠、进水口结构、排水隧洞、出口明渠等结构组成。排水隧洞进口底板高程为 2 855 m, 出口底

板高程为 2 705 m, 洞身轴线长 1 611 m, 按照分段布置不同纵坡, 最小纵坡为 3.09%, 最大纵坡为 10.68%, 最大过流断面尺寸为 5 m×6 m(宽×高), 最小过流断面尺寸为 3.5 m×3.7 m(宽×高), 断面采用城门洞型。

## 2 工程特点及重难点

### 2.1 外界环境因素复杂

陡长水工隧洞经常会遇到较为复杂的外界环境因素。在必英沟排水隧洞开挖过程中, 揭露围岩类别以Ⅲ类围岩为主, Ⅳ类、Ⅴ类围岩需要采取“一开挖一支护”的掘进方式, 确保洞室的稳定, 局部洞段受节理裂隙发育及断层等影响, 渗水较为严重, 抽排水设施要随掌子面进尺及时跟进布设, 因此, 该类型的隧洞开挖会增加支护施工难度, 对现场管理人员的经验及作业人员的水平提出了较高的要求, 工程建设工期的不可控性也会随之增加。

### 2.2 安全管控风险隐患多

必英沟排水隧洞开挖长度 1 611 m, 最大纵坡达 10.68%, 断面尺寸类型多, 加之单作业面掘进及复杂多变的水文地质条件, 使开挖支护施工过程中的安全管控风险剧增。主要集中于围岩破碎节理发育掉块风险大、多处渗水加剧围岩变形失稳、施工工序干扰大使支护及时性不够、施工作业面狭窄导致应急逃生通道有限等。由于隧洞施工本身对技术方案和资源组织水平要求较高, 因此, 现场管理人员在施工过程中及时开展安全风险隐患排查、处理, 对确保工程安全和施工进度显得尤为重要。

### 2.3 施工作业环境差

隧洞的施工作业环境主要以洞内空气质量、掌子面积水量等指标来衡量, 主要施工保证措施为通风散烟和抽排水, 措施实施难度与单项掘进长度、纵向坡比、工序数量等成正比例关系, 与隧洞断面尺寸成反比例关系。因此, 对于陡长水工隧洞来说, 其洞内的施工作业环境要较一般隧洞差, 且改善提升难度大。

### 2.4 临建设施布置密度大

必英沟排水隧洞最大开挖断面尺寸为 6 m×6.5 m(宽×高), 最小开挖断面尺寸为 4.5 m×4.6 m(宽×高)。受设计开挖断面尺寸限制, 施工供水、供电、供风、通风等临建设施的设备和材

料在空间布置上过于密集, 且相互制约影响较大。同时, 上述临建设施在有限的施工空间里对隧洞开挖、支护等作业也会产生一定的影响。

### 2.5 施工工序干扰大

必英沟排水隧洞开挖支护施工阶段主要工序有放样、钻孔、爆破、通风、出渣、喷混凝土、挂网、锚杆等, 抽排水在各工序之间持续进行。因各工序施工特点及空间尺寸限制, 工序间作业交叉干扰大, 且无法紧凑衔接, 部分在一般隧洞工程中可以平行施工的工序在此类隧洞中不能开展平行作业, 占用了直线工期。

### 2.6 施工作业工效低

必英沟排水隧洞开挖支护采用“新奥法”理论, 在隧洞单循环开挖完成后, 须结合围岩应力分布特点、变形监测数据特征等, 及时完成相应的支护, 确保围岩的稳定性, 因此, 对开挖、支护等工序的实施时效性要求较高。而受复杂地质环境、施工作业环境、施工工序干扰等因素影响, 人工作业的整体效率会随着洞室断面尺寸变小、单项掘进长度增加而急剧下降, 进而会对工程安全、质量、进度等全过程管控产生较大的影响。

从施工的实际情况不难看出, 此类隧洞开挖支护管理的重难点主要集中在如何采取合理且有效的施工措施减少施工工序干扰、改善施工作业环境、提高施工作业工效, 进而保证工程安全、质量、进度等管理指标受控。

## 3 施工措施

### 3.1 抽排水措施

必英沟排水隧洞开挖支护采用由进口段 BP0+000 到 BP1+610.992 单项掘进的方式进行施工, 洞内坡度整体呈下坡型式, 最陡段坡度达 10.68%。施工过程中, 围岩周围开挖揭露地下水较丰富, 所有洞内水均汇流至掌子面。为确保正常施工, 首要任务是采取合理的施工措施将地下渗水和施工废水及时抽排出洞。但受爆破、出渣等因素影响, 抽排水作业无法保证连续实施, 在出渣期间将暂停抽水, 根据洞内渗水及掌子面积水情况, 应对抽排水作业和渣料清运进行合理安排。为保证洞内抽水效率, 抽水泵均须采用大流量、高扬程水泵。

在现场施工过程中, 先通过抽水泵接软管将积水抽至距掌子面最近的集水坑, 再沿洞轴线设

置多个集水坑、排水泵、排水管,采用分段梯级抽水方式将洞内水抽至洞外三级沉淀池。具体措施是:洞内每间隔 100 m 设置一道临时性集水坑(集水坑尺寸采用 2 m×1 m×2 m(长×宽×高),集水坑内放置固定式潜污泵(WQ100-35-18.5 kW),辅以 DN108 排水钢管。

因洞内渗水具有持续性,而抽水间隙时间仅为渣料清运期间,水泵几乎处于连续高强度工作状态,对水泵稳定运行维护的要求极高,现场配置了一个 3~4 人的维护班组。同时,为减少因水泵损坏更换而耽搁的施工时间,预防洞内渗水突然增加的不利因素,抽水泵以及管道均采用一用一备的方式。

### 3.2 通风散烟措施

因必英沟排水隧洞设计开挖断面尺寸呈洞口大、洞内小的特点,且在 BP0+042-BP0+145 段轴线为 R100 圆弧型,洞内空气流动性小,导致洞内空气质量差,尤其在爆破后和出渣期间挖掘机、装载机、出渣车等机械运行过程中产生的烟雾更难排出<sup>[4-5]</sup>。

基于上述特点,考虑洞内空间有限及减少施工干扰等因素,现场采用在洞口右侧安装 2×55 kW 送风风机,风袋采用 φ100 mm 规格,在隧洞中间(BP0+800)加装接力风机,在左侧设置一台抽风风机,使洞内形成一个空气循环,有效提升隧洞内空气环境指标。

### 3.3 施工干扰解决措施

必英沟排水隧洞设计开挖断面尺寸小,直接导致开挖渣料在掌子面无法直接装车运输,支护工序施工期间因设备占道而无法进行开挖。

基于上述因空间尺寸而产生的施工干扰,现场采取设置错车道的方式解决,即错车道沿洞轴线每间隔 70~100 m 设置一道,错车道尺寸为 7 m×6 m×4 m。为满足洞内车辆运输需要,错车道和集水坑设置在同一处。开挖出渣时,通过装载机将掌子面的渣料运至停放在错车道的出渣车上进行清运;支护施工期间,可将支护设备、材料堆放在错车道内进行施工,保证主干道通畅,进而确保掌子面正常开挖。

## 4 施工措施应用效果

必英沟排水隧洞开挖作业循环由钻孔、出渣和辅助工作等组成。根据现场实际工效,不同围

岩类别完成 1 个开挖循环所需时间及单循环进尺数情况如下:

Ⅲ类围岩单循环进尺 1.5~1.8 m,9.5 h/循环,2.5 循环/d,日进尺可达 3.7~4.5 m/d,则月进尺 92~112 m/m(按 25 d/m 计算),实际施工平均可达 100 m/m;Ⅳ、Ⅴ类围岩循环进尺 1.0~1.2 m,12 h/循环,2.0 循环/d,日进尺 2.0~2.4 m/d,则月进尺 50~60 m/m(按 25 d/m 计算),实际施工平均可达 55 m/m。另外,隧洞开挖支护施工过程中,错车道和积水坑施工需要 2 d,机械维修和故障等耽搁约 3 d。

由于将错车道作为喷混凝土的作业平台以及装载机、挖掘机等机械的停放空间,现场初期支护施工和开挖进度基本匹配,除特殊部位需要立即支护而停止掌子面开挖的地方,其余部位支护施工均滞后掌子面约一个错车道的距离。

必英沟排水隧洞开挖支护施工过程中,经参建四方对围岩类别进行现场鉴定,实际洞身总长为 1 613 m,围岩类别情况分别为Ⅲ类 1 293 m、Ⅳ类及Ⅴ类 320 m,实际开挖支护施工工期约 18 个月,进度基本满足合同工期要求,施工过程中未发生一起安全、质量事故,整体工程管理指标受控。

## 5 结 语

地下洞室开挖支护施工难度及工效会因围岩类别、断面尺寸、纵向坡度、支洞数量等不同而各异,采取的开挖支护施工措施也会有所差别。必英沟排水隧洞工程由于受到地形、地质等客观条件的限制,在实际施工过程中无法通过增加施工支洞的方式来减少掘进长度,提高通风散烟及抽排水效率。针对工程的实际情况,采用分段梯级抽排水、接力循环通风散烟、增设错车道等综合施工措施,解决了陡长水工隧洞单面作业施工存在的环境差、工序干扰大、作业工效低的问题,有效提升了工程施工安全、质量、进度等方面的管理成效,可为类似工程项目管理提供借鉴。

### 参考文献:

- [1] 谢英国. 水工隧洞施工技术研究[J]. 低碳世界, 2017, (10): 73-74.
- [2] 李龙. 小断面长距离水工隧洞施工技术分析[J]. 农业工程, 2021, (8): 124-125.
- [3] 张剑飞. 浅谈长距离小断面隧道施工技术要点[J]. 四川建筑, 2019, (2): 295-297.

(下转第 23 页)

钢筋。钢筋网格间距 20 cm,采用电焊连接。钢筋石笼内码放块石,周边块石粒径不小于 30 cm,内部充填密实,岩块饱和抗压强度不小于 30 MPa。钢筋石笼之间采用  $\Phi 20$  mm 钢筋环连接。戽堤护脚采用块径不小于 0.8 m 的大块石。根据测算,龙口护底所需钢筋石笼约 1 600 m、护脚大块石约 1 260 m<sup>3</sup>。

(2)根据护底期间戽堤区域水位、流速、水面宽度、河床高程及钢筋石笼尺寸、重量等特性,本工程钢筋石笼采用人工配合 75 t 汽车吊机进行定位安放,护脚大块石利用反铲挖掘机抛投。护脚大块石抛投前,先贴近水面修筑作业平台,便于反铲挖掘机将大块石抛投到位、确保戽堤稳定。

护底钢筋石笼的安放顺序采用从下游向上游、自戽堤向河床方向分层安放。在龙口河床护底钢筋石笼安放时,75 t 汽车吊机要停放在贴近水面高程的作业平台上。护底钢筋石笼安放前,分别在河床两岸平行于戽堤轴线和垂直于戽堤轴线方向测量放样钢筋石笼沉放基准点,在钢筋石笼安放区域张拉带有醒目标识的标尺绳。钢筋石笼在水上安放时,两岸分别安排 1 名测量人员采用拉标尺绳的方式进行精确定位,同时安排测量人员利用全站仪对入水前钢筋石笼的抛投定位进行校核,初步形成网格化投放钢筋石笼的作用。在钢筋石笼抛投施工中,有专人负责详细绘制、记录每只钢筋石笼的定位坐标并绘制出钢筋石笼定位投放的平面布置图,避免钢筋石笼摆放错位、堆叠。

(3)受高速水流影响,钢筋石笼在沉放过程中极易发生漂移,最终落点与预定坐标存在较大偏差。钢筋石笼沉放前,现场测量不同区域水位、水深、流速,并通过在钢筋石笼上绑系浮球的方式测量石笼漂移距离,据此修正钢筋石笼实际沉放坐标。

(4)连接钢筋石笼的钢丝绳脱钩是高速水流

下钢筋石笼水下安放的一个难题。因为钢筋石笼一旦接触到水面,受高速水流冲刷影响极易造成 75 t 汽车吊机失稳,容易引发事故。为了截流施工顺利实施,项目技术人员通过现场反复试验,采用在钢筋石笼吊索与汽车吊钩之间增加一台远程遥控自动脱钩器,避免了投放钢筋石笼与水面接触受流速影响的问题,同时,也加快了投放钢筋石笼脱钩的速度,确保了钢筋石笼护底施工进度和吊装安全可控。

#### 4 结 语

大江截流龙口河床钢筋石笼护底精确定位投放施工技术,解决了在高寒高海拔地区由堰塞湖相沉积形成的软弱覆盖层这种复杂地形地质条件下的水利水电工程截流施工龙口护底问题<sup>[4]</sup>,同时,也解决了采用船只和栈桥护底施工的技术难题,该技术是立堵戽堤截流护底的一种新思路<sup>[5]</sup>。截流护底施工技术对国内其他低抗冲流速湖相沉积层类似的深厚覆盖层河床截流施工具有借鉴和推广意义,尤其是金沙江流域抗冲流速低、覆盖层深厚的区域,可普遍推广。

#### 参考文献:

- [1] 李学海. 深厚覆盖层河床截流若干关键技术问题研究[D]. 武汉大学博士论文,2010,(1):5-8
- [2] 徐千群,方朝阳,冯守印. 降低立堵截流难度的措施研究[J]. 水利与建筑工程学报,2008,(1),23-25.
- [3] 陈小祎,崔伯奎. 浅谈深覆盖层截流施工技术[J]. 陕西水利,2013(4):67-71.
- [4] 李学海,韩继斌,程子兵. 减轻立堵截流难度措施研究进展[J]. 长江科学院院报,2010,(8):87-90+110.
- [5] 郑翠云. 水利工程截流施工相关问题探讨[J]. 中国科技纵横,2012(18):88-92.

#### 作者简介:

孙广亮(1986-),男,河南温县人,本科,工程师,主要从事项目安全技术管理工作;

李洪林(1972-),男,四川南江人,本科,正高级工程师,主要从事项目施工技术管理工作;

刘伟伟(1991-),男,甘肃庆阳人,技师,中专,主要从事项目现场施工管理工作. (责任编辑:卓政昌)

(上接第 20 页)

[4] 钱峰. 大湾引水工程长距离隧洞施工通风、排水、用电技术[J]. 河北企业,2018,(5):149-150.

[5] 丁小华. 小断面长距离水工隧洞施工通风的设计与布置[J]. 低碳世界,2017,(25):76-77.

作者简介:

王国阳(1990-),男,河南灵宝人,工程师,硕士,从事工程建设管理工作;

钱凯旋(1995-),男,安徽蚌埠人,助理工程师,硕士,从事工程建设管理工作;

龚泽鹏(1997-),男,四川成都人,助理工程师,本科,从事工程建设管理工作. (责任编辑:卓政昌)